

Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol., vol. V n° 1, 1971.

NOTE SUR *OSCILLATORIA* (SOUS-GENRE *SPIRULINA*) *PLATENSIS* (NORDST.) BOURRELLY* (*CYANOPHYTA*) AU TCHAD

par A. ILTIS**

RÉSUMÉ

Oscillatoria platensis a été trouvé au Tchad dans des milieux natronés temporaires ou permanents situés d'une part directement au nord-est du lac Tchad (Kanem), d'autre part au nord-est de Largeau (Borkou). Les peuplements de cette algue atteignent de fortes densités, surtout dans les lacs permanents qui possèdent une teneur en sels élevée (30 à 40 g/l). Dans les mares temporaires restant en eau plus de 3 à 4 mois, *O. platensis* se développe mais les densités sont plus faibles et la proportion d'organismes étrangers est en général plus importante.

Une partie très localisée de la population tchadienne récolte et utilise dans son alimentation cette Cyanophycée. Celle-ci entre dans la confection de sauces et les quantités consommées par une personne durant un repas sont assez réduites. D'après les analyses effectuées par différents organismes scientifiques, la teneur en protéines égale et même dépasse 50 % du poids de matière sèche.

Les connaissances actuelles sont encore très incomplètes particulièrement en ce qui concerne la biologie de cette espèce et ses capacités de production dans les différents milieux naturels natronés existant au Tchad.

ABSTRACT

Oscillatoria platensis is found in Chad in the temporary or permanent natroned waters located on the one hand directly at the north east of the Chad lake (Kanem), on the other hand at the north east of Largeau (Borkou). This alga reaches great densities, particularly in permanent lakes having a high saline concentration (30 to 40 g/l). In the temporary ponds, flooded during over three or four months, *O. platensis* develops but the densities are more slight and the proportion of alien organisms is generally more important.

* Nous utilisons ici la nomenclature proposée pour les Oscillariacées par BOURRELLY (1970) dans son troisième tome sur les Algues d'eau douce.

** Hydrobiologiste, Centre O.R.S.T.O.M., B.P. 65, Fort-Lamy (Tchad).

A very localized part of the Chad population reaps and utilizes in his food this Cyanophyceae. This one is used in the making of sauces and the amounts ingested daily are rather small. After analysis made by different scientific organizations, the percentage of proteins is equal or exceeds 50% of the weight of dry matter.

The present informations are yet very incomplete particularly about biology of this species and his capacity of production in the different natural natroned media in Chad.

INTRODUCTION

L'existence au Tchad de la Cyanophycée *Oscillatoria platensis* (Nordst.) Bourrelly, utilisée dans l'alimentation humaine, a été mentionnée pour la première fois par DANGEARD dans les extraits des procès verbaux de séances de la Société Linnéenne de Bordeaux en 1940. Il s'agissait d'échantillons séchés sans indication de lieu exact de récolte. Plus récemment, cette algue bleue a été trouvée en grande quantité dans les petits lacs et mare temporaires du Kanem, région s'étendant au nord-est du lac Tchad. Elle est signalée de plus dans une source ferrugineuse à Faya-Largeau (rocher de Mao, 17°50' N et 19°05' E) et dans la région d'Ounianga Kébir (19°04' N et 20°30' E) (fig. 1). COMPÈRE (1967) l'a déterminée là dans les lacs Katam, Djobo et Yoan où elle forme des peuplements très denses. Jusqu'à présent, *O. platensis* n'a pas été signalé dans les eaux du lac Tchad dont les caractéristiques physico-chimiques actuelles ne semblent pas favorables à son développement en forte quantité.

Signalons que des souches d'*O. platensis* (déterminées par erreur sous le nom de *Spirulina maxima* [Setch. et Gardner] Geitler) ont été récoltées dans le lac de Rombou, près de Mao (Kanem) pour l'Institut Français du Pétrole et ont fait l'objet de cultures en milieu artificiel et d'essais de production industrielle (ZARROUK, 1966).

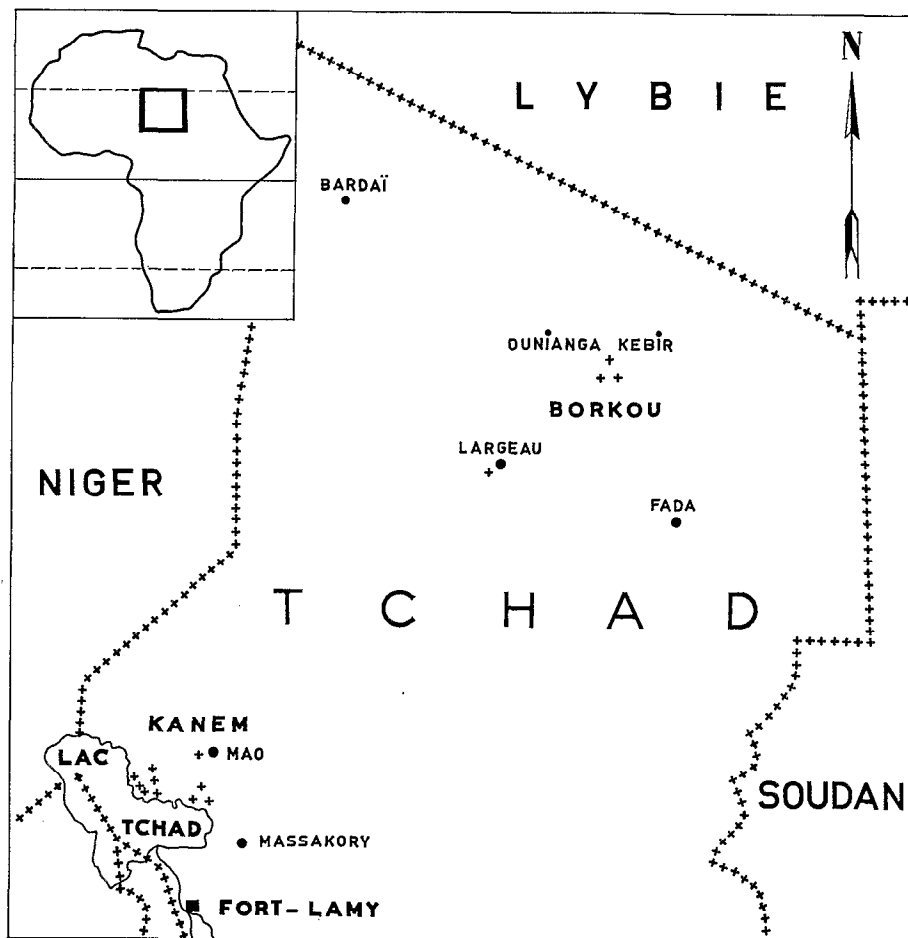
Dans le reste de l'Afrique, cette Cyanophycée a été observée au Kenya (WEST, 1896 — JENKIN, 1929 — RICH, 1933 — ROSS, 1955), en basse Égypte (TICH, 1931), au Congo-Kinshasa (DUVIGNEAUD et SYMOENS, 1948), en Zambie (THOMASSON, 1960) et en Éthiopie (THOMASSON, 1960 — BAXTER et WOOD, 1965).

En dehors de l'Afrique, *O. platensis* a été observé en Israël (RAYSS, 1944 — KOMAROVSKY, 1951, 1953) dans le lac de Tibériade où il atteint de fortes densités de peuplement ainsi que dans des étangs de pisciculture de la vallée du Jourdain. En Asie, cette espèce a été récoltée au Pakistan (GHOSE, 1923 — RHANDAWA, 1936), aux Indes (BISWAS, 1927), à Ceylan (HOLSINGER, 1955) et en Thaïlande (HIRANO, 1967). En Amérique du Sud, elle a été observée en Uruguay (WITTROCK et NORDSTEDT, 1889) et au Pérou (THOMASSON, 1960). Elle peut être considérée comme une algue des régions tropicales et subtropicales. La variabilité morphologique de cette espèce a été étudiée par RICH (1931), et plus récemment une très bonne diagnose a été donnée par COMPÈRE (1967). Une espèce très voisine *O. maxima* (ex. *Spirulina maxima* [Setch. et Gardn.] Geitler) existe en Amérique tropicale.

1. CARACTÉRISTIQUES DES MILIEUX A *OSCILLATORIA PLATENSIS*

1.1. Description des milieux aquatiques.

Oscillatoria platensis est trouvé dans les eaux stagnantes des petits lacs ou de mares temporaires soit dans la zone sahélienne (Kanem), soit en zone désertique (Ounianga Kébir). Dans cette région, cette algue bleue se trouve dans une série de petits lacs bordés de dunes ou de falaises de grès, pouvant atteindre une superficie de 4 km² environ. La profondeur est de 25 m

Fig. 1. — Lieux de récolte d'*O. platensis* au Tchad.

au centre du lac Yoan et de l'ordre de quelques mètres pour le lac Katam. Les pluies étant à peu près nulles dans cette région, ces pièces d'eau sont alimentées par la nappe phréatique.

Dans le Kanem, les lacs et mares à Spirulines occupent les dépressions localement appelées « ouadis » d'un système dunaire fossile. Ils sont alimentés par la nappe phréatique du Chitati et par les pluies (335 mm en moyenne par an) qui tombent durant une courte saison de 3 à 4 mois, plus de 50 % des précipitations se produisant au mois d'août ; la profondeur ne dépasse pas 1,50 m. Entre les rives et le pied de dune, s'étend une ceinture de *Cyperus laevigatus*, petit souchet caractéristique des bordures de lacs ou de mares fortement natronés, souvent accompagné de *Paspalidium geminatum*. Parfois (lac de Rombou), une bordure de *Phragmites* et quelques *Typha* existent sur les bords mais ces végétaux apparaissent en mauvais état physiologique. Une frange blanche de natron* marque la limite des eaux. Dans les mares temporaires, une couche de quelques centimètres d'efflorescences de natron se forme sur l'argile du fond durant l'assec ; elle est due d'une part aux sels contenus dans l'eau de la mare et qui se déposent lors de l'assèchement, et d'autre part à ceux de la nappe phréatique remontant par capillarité à travers la couche d'argile.

* Des études récentes de MAGLIONE (1968) ont montré qu'il s'agit exactement d'un composé hydraté de carbonate de sodium appelé trona. Nous utiliserons ici le terme natron au sens large pour désigner les carbonates et bicarbonates de sodium.

1.2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux.

C'est dans le Kanem que la plus grande partie des renseignements sur les milieux à *Spirulines* ont été obtenus, et l'on ne possède que des données très fragmentaires sur l'écologie des peuplements de la région d'Ounianga Kébir (LÉONARD et COMPÈRE, 1967 — CAPOT-REY, 1961).

La température de l'eau a été régulièrement relevée à la station climatologique de Bol-Matafo durant l'année 1967 dans un bac d'évaporation enterré reproduisant sensiblement le milieu des mares et lacs peu profonds à *Spirulines* du sud du Kanem en bordure du lac Tchad (tableau I).

TABLEAU I

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Min. abs.....	14,2	15,3	17,1	20,5	24,0	24,2	25,3			21,2	15,4	15,8
Max. abs.....	26,1	28,7	30,0	33,5	34,5	34,2	34,5			30,7	29,6	29,1
Moy. mens.....	19,1	21,3	22,9	27,2	28,8	29,8	29,3	29,3	29,7	24,7	21,1	19,9

Les températures moyennes passent au cours de l'année par quatre valeurs extrêmes : deux minimums, le plus marqué étant en décembre-janvier durant la saison froide, et un plus faible en juillet-août durant la saison des pluies ; deux maximums, le plus important étant en mai-juin pendant la saison chaude et un plus atténué en septembre-octobre. L'amplitude des variations moyennes au cours de l'année est de 10,6°, celle des variations absolues de 20,3°. La température moyenne de l'eau calculée sur une année est de 25,3°. Des observations sur les variations horaires durant 24 h ont montré que les températures maximales du milieu sont atteintes entre 15 et 16 h, les valeurs minimales se situant entre 6 et 7 h. Dans les mares temporaires à *Spirulines* où la couche d'eau est à certaines époques très mince, la température de l'eau exposée en plein soleil peut, en l'absence de vent, atteindre 38 °C.

L'amplitude des écarts entre valeurs maximales et minimales est sans doute encore plus grande dans les lacs du nord du Tchad situés en pleine zone désertique. Il n'existe pas de données sur la température de l'eau dans cette région : l'amplitude extrême des variations de la température de l'air atteint 47° et la différence entre la moyenne des maximums du mois le plus chaud et la moyenne des minimums du mois le plus froid est supérieure à 30°.

En cultures expérimentales en milieu artificiel, l'optimum de croissance des *Spirulines* prélevées dans le Kanem « se situe entre 32° et 40°, soit aux environs de 35°. En dessous de 20° la croissance est très lente et finit par s'arrêter » (ZARROUK, 1966).

L'ensoleillement qui conditionne l'énergie lumineuse reçue par les étendues d'eau est très important et au cours de l'année 1967, on a observé une moyenne de 92 dixièmes d'heure de soleil par jour.

Les pH sont toujours élevés. Ils ont été mesurés sur le terrain par la méthode colorimétrique à l'aide d'un comparateur Hellige. Ils varient entre 9,5 et 11,0 ; les valeurs les plus fréquemment trouvées sont 10,2 et 10,4.

La transparence est très faible dans les lacs à *Spirulines*. Le disque de Secchi disparaît le plus souvent entre 3 et 15 centimètres de la surface par suite de la forte densité du peuplement algal. L'eau a alors une teinte verte très marquée ; il n'est cependant pas possible de recenser d'après la couleur, par observation aérienne par exemple, les milieux à *O. platensis*, d'autres Cyanophycées (*Anabaenopsis*, *Synechocystis*, *Microcystis*, *O. platensis* var. *minor*) pouvant donner naissance, dans certains milieux aquatiques de ces régions, à des peuplements très denses ayant une teinte identique. En l'absence de développement phytoplanctonique, les eaux sont de couleur brune et laissent voir le fond. L'eau est visqueuse au toucher et laisse en séchant une mince pellicule blanche de natron.

En ce qui concerne la concentration en sels des milieux à *O. platensis*, les tolérances de salinité de cette espèce dans les collections d'eau du Kanem ont été définies récemment (LITIS, 1968). Cette Cyanophycée a été trouvée dans des milieux concentrés à 8,5 g de résidu sec par litre (soit une conductibilité électrique ramenée à 25 °C de 11,5 millimhos) jusqu'à plus de 200 grammes par litre environ (100 millimhos environ). Il s'agissait, dans ce dernier cas, de peuplements à Spirulines qui s'étaient formés dans des conditions de salinité plus favorables et qui réussissaient à se maintenir à cette forte concentration. En fait, la zone optimale de développement se situe approximativement entre 22 et un peu plus de 60 grammes de sels par litre, soit entre 25 et 50 millimhos de conductibilité. En milieu artificiel, les résultats obtenus en culture pure par ZARROUK (1966) avec des souches originaires du Kanem, montrent des limites inférieures de tolérance de salinité légèrement plus basses.

TABLEAU II

	g/l	mg/l	mél/l							
	Res. sec	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	CO ₃ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻
<i>Lac de Rombou</i>										
- 3-63....	23,9		0	0	419	14	28,2	22,0	167	180
27-11-65....	11,4		0,4	0,4	138	37	23	12	96	66
30- 4-66....			0,1	0,1	198	48,5	9,2	19,3	124	81
21- 3-67....	16,5		0	0,8	222	54,2	29,0	21,9	134	103
30- 5-67....	25,9		0,4	0	293	75,0	41,0	17,8	248	103
6- 8-67....	24,1	156	0,3	0,2	299	77,6	38,0	30,8	242	75
29- 8-67....		235	0,8	0,2	195	49,8	25,0	20,7	156	48
4-10-67....	14,7	230	0	0,5	170	45,0	24,0	19,0	148	47
5-11-67....	15,8	490	0,5	0,2	175	24,0	25,0	19,1	160	45
5-12-67....	16,0		0,4	0,1	260	48,0	26,0	20,3	262	56
8- 2-68....	20,4		0,5	0,1	226	55,5	27,0	21,2	156	65
26- 6-68....	26,2		0,3	0	230	54,0	34,0	27,0	160	61
<i>Lac de Bodou</i>										
1- 2-67....	35,8		0,7	1,6	462	53,0	49,0	24,7	365	128
23- 3-67....	37,9		2,0	3,0	500	54,2	54,0	20,0	374	146
1- 6-67....	40,6		1,6	2,8	565	59,0	64,0	30,6	456	164
31- 7-67....	42,0	177	0,6	2,1	584	70,0	62,0	32,2	430	192
6-10-67....	40,0	136	0,6	1,8	580	64,0	63,0	30,0	472	134
6-12-67....	40,3		0,9	1,5	560	73,2	70,0	27,6	409	168
12- 2-68....	46,0	165	0,4	0,1	585	43,0	47,5	31,9	465	127
<i>Ouadi de Liwa</i>										
1- 6-67....			0,8	0	325	18,5	43,5	8,9	262	68
1- 8-67....			0,5	0,5	819	50	110	34,4	630	175
6-10-67....			2,1	0,5	410	24,6	63	6	348	60
8-12-67....			0,2	0,2	410	21,6	54	12,4	340	50
15- 2-68....			0,2	0,1	402	19	53,5	14,3	283,5	107
11- 4-68....			0,1	0,1	273	12	28,1	7,0	177,0	60
<i>Mare de Latir</i>										
14-11-65....	172	652	0	0	1850	53,0	46,8	780	1049	182
13- 1-66....	54		0,8	0,4	692	172	26,0	405	400	72
23-10-66....	260		3,6	1,2	2700	860	28,5	1515	1923	353
3-11-67....	175	690	0	0,8	1975	550	17,0	1229	1130	100
<i>Mare de Maou-Leyla</i>										
4-11-67....	27,7	690	0,3	0,3	340	46,0	22,0	111,8	188	113

D'après les observations effectuées sur la composition et les variations du phytoplancton, on peut supposer qu'en milieu naturel certaines Cyanophycées (*Anabaenopsis arnoldii*, *Oscillatoria platensis* var. *minor*) ont leur optimum de développement dans la zone de salinité correspondant à la zone d'apparition possible de *O. platensis* et empêchent le développement de cette dernière.

Les eaux des milieux à *O. platensis* ont été analysées au laboratoire de chimie de l'O.R.S.T.O.M. à Fort-Lamy (tableau II).

Dans la région d'Ounianga Kébir, au nord du Tchad, l'analyse des eaux publiée par POCHARD a donné les résultats suivant en mé/l (tableau III) :

TABLEAU III (d'après WOOD, 1968)

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	CO ₃ ⁻ + HCO ₃ ⁻
Lac Yoan.....			1072		272	315	484

Au point de vue composition chimique des eaux, *O. platensis* préfère donc les milieux ayant les caractéristiques suivantes : comme cations, Na⁺ est le plus abondant et K⁺ assez abondant. Les ions Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ sont inexistantes ou en très faible quantité. Parmi les anions, carbonates et bicarbonates sont dominants, SO₄⁻ est assez abondant, les ions Cl⁻ étant en quantité relativement faible (fig. 2, lacs 1 à 5).

Les éléments-traces ont été dosés dans les deux lacs à Spirulines de Rombou et Bodou. Les résultats des dosages effectués sur des échantillons récoltés en mars 1967 et exprimés en milligrammes par m³ sont reproduits dans le tableau IV.

TABLEAU IV (d'après MAGLIONE, 1968)

	Mn	Pb	Ga	Ri	Mo	Sn	V	Cu	Zn	Ni	Co	Ti	Cr	Sr	Ba	Li	Rb	S	U.ppb
Lac de Bodou...	140	480	480	480	240	480	140	140	4800	480	140	720	140	140	1400	140	4800	15340	52
Lac de Rombou.	48	160	160	160	48	160	48	48	1600	160	48	160	48	480	1600	48	1600	6576	1,6

A titre de comparaison, nous reproduisons ici les caractéristiques chimiques en mé/l de quelques autres milieux à *O. platensis* étudiés au Kenya, en Éthiopie et au Pérou (d'après WOOD, 1968) (tableau V et fig. 2).

TABLEAU V

	Ca ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	CO ₃ ⁻ + HCO ₃ ⁻
Lac Elmenteita (Kenya).....	<0,2	411	9,8	146	45,8	289
Lac Rudolf (Kenya).....	0,1	35	0,5	13,4	1,4	25
Lac Nakuru (Kenya).....	<0,2	1852	33,6	366	89,0	1440
Lac Chiltu (Éthiopie).....	<0,2	539	17,2	24	89,4	400
Lac Aranguadi (Éthiopie).....	0,3	67	8,1	21,7	0,7	51
Lac Huacachina (Pérou).....		734		96,6		106

On remarque, là aussi, la dominance des carbonates et bicarbonates de sodium ; les teneurs en ions Cl⁻ sont toutefois proportionnellement plus élevées que dans les mares et lacs tchadiens.

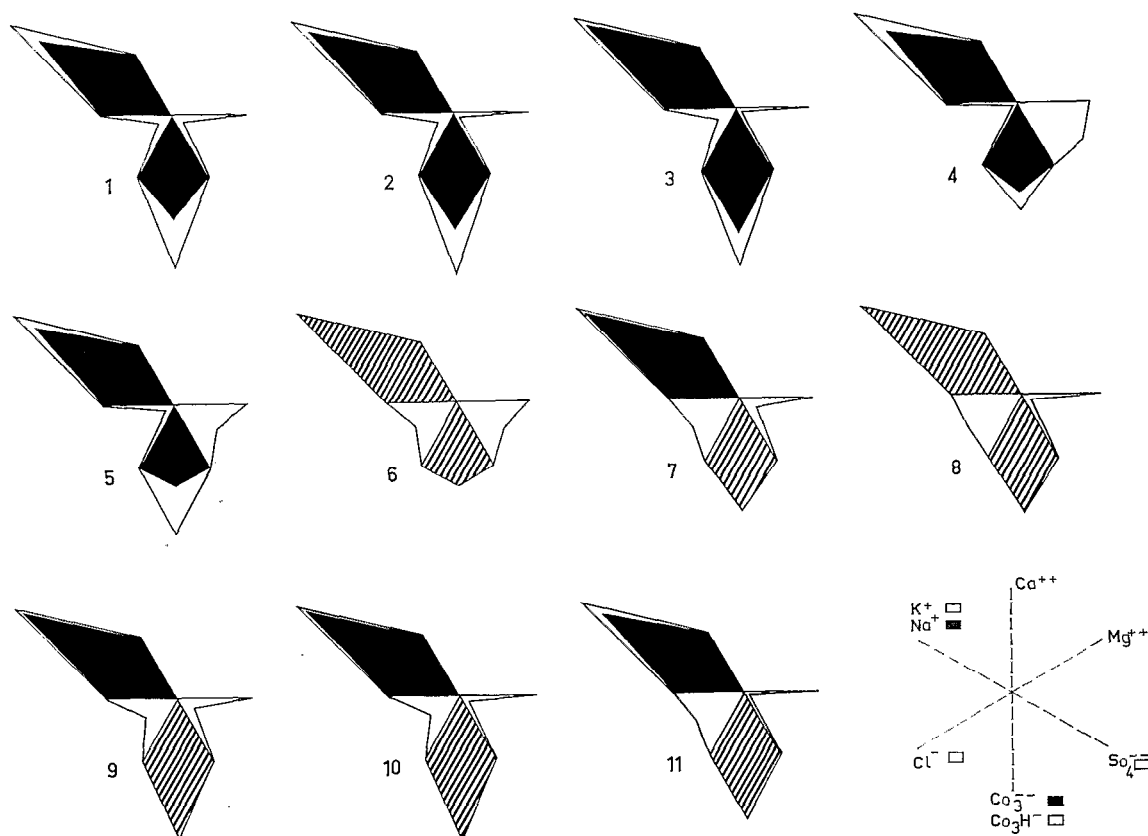


Fig. 2. — Représentation graphique (d'après KUFFERATH, 1951) de la composition chimique moyenne des eaux des milieux à *O. platensis*.

1. Lac de Rombou, salinité	19,5 ‰	7. Lac Elmenteita
2. Lac de Bodou, salinité	40 ‰	8. Lac Rudolf
3. Ouadi de Liwa, salinité	29 ‰	9. Lac Nakuru
4. Mare de Latir, salinité	165 ‰	10. Lac Chiltu
5. Mare de Maou-Leyla, salinité	28 ‰	11. Lac Aranguadi.
6. Lac Yoan		

1.3. Localisation des lacs et mares à *O. platensis* au Tchad.

L'inventaire des milieux aquatiques à Spirulines n'a pas été effectué systématiquement jusqu'à présent. Nous ne disposons donc que d'observations faites à l'occasion d'une étude entreprise par la section d'Hydrobiologie de l'O.R.S.T.O.M. sur le peuplement algal de plusieurs lacs et mares du Kanem. De plus, des échantillons de plancton ont été récoltés dans plusieurs lacs du nord du Tchad (LÉONARD, 1966 — COMPÈRE, 1967) à la fin de l'année 1964.

De ces différentes observations, il ressort que *O. platensis* peut être trouvé en abondance dans certains lacs de la région d'Ounianga Kébir (Lac Katam et lac Yoan par exemple) à 1000 km environ à vol d'oiseau au N. E. de Fort-Lamy. LÉONARD a pu, en décembre 1964, récolter dans ces deux lacs « une épaisse purée à *S. platensis* » (LÉONARD et COMPÈRE, 1967). CAPOT-REY (1961) parlant du lac Yoan, décrit « une couche d'algues gluantes se forme par endroit à la surface du lac ». Dans le Kanem (fig. 3), les lacs permanents situés dans une bordure de quelques kilomètres de large le long du lac Tchad forment des milieux favorables au développement de *O. platensis* (lac de Bodou par exemple). Il s'agit parfois simplement de bras séparés du lac Tchad

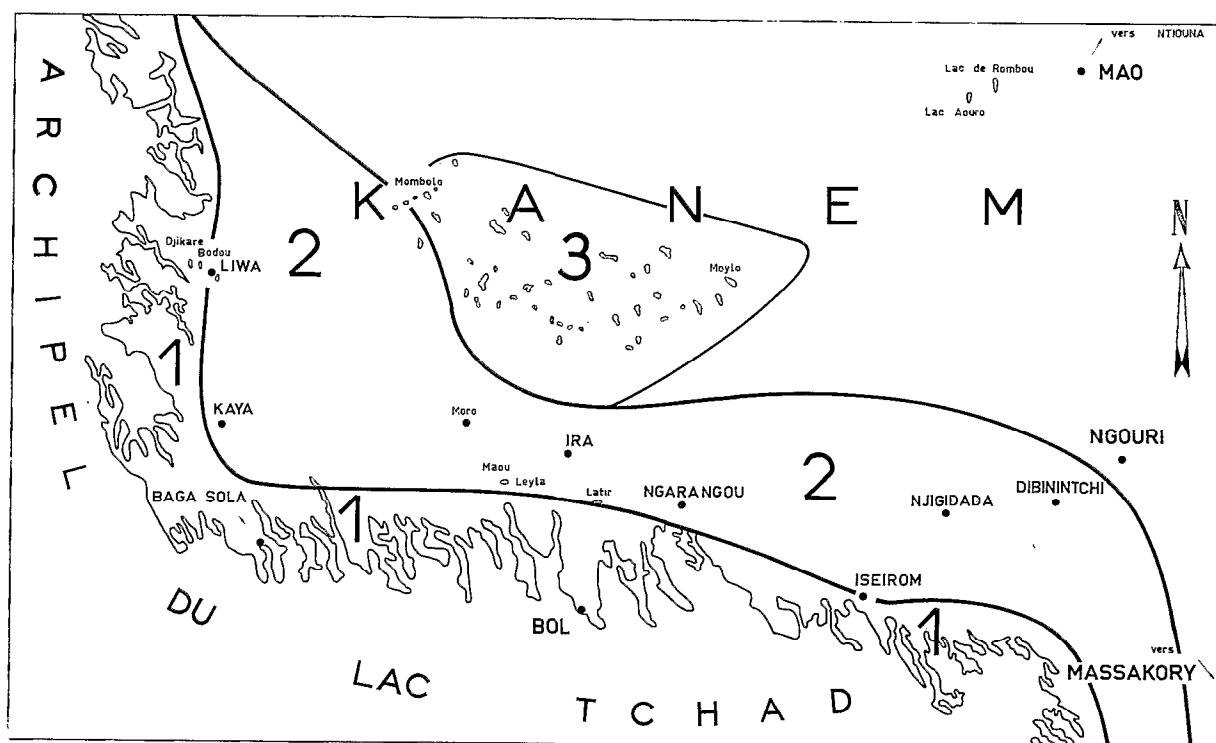


Fig. 3. — Répartition des différents milieux natronés du Kanem : 1. Zone de lacs permanents à Spirulines ; 2. Zone de mares temporaires à Spirulines ; 3. Zone de lacs permanents oligohalins où *Oscillatoria platensis* est absent.

proprement dit par un mouvement dunaire. Quelques-uns d'entre eux, toutefois, ne présentent pas la concentration en sels compatible avec le développement de cette espèce et sont envahies par des peuplements très denses d'autres Cyanophycées (*Anabaenopsis arnoldii*, *Oscillatoria platensis* var. *minor*, etc.).

Plus à l'intérieur des terres existe tout un réseau de mares temporaires installées dans des dépressions interdunaires. Ces mares qui peuvent atteindre jusqu'à 60 hectares présentent des périodes de pleine eau de durée très variable et peuvent être envahies par des peuplements très denses à Spirulines.

Dans la partie centrale du sud Kanem existe toute une zone de lacs permanents. Dans un triangle dont les sommets seraient la localité d'Ira, le lac de Moylo et le quatrième lac de Mombolo, les milieux ne présentent pas une salinité suffisante et *O. platensis* est absent ou seulement en quantité insignifiante. Dans le centre du Kanem, le lac de Rombou, bien connu localement par le jardin du Sultan qui en occupe les rives, situé à 10 km à l'ouest de Mao, est un lieu de récolte de Spirulines. Un autre lac représenté comme permanent sur les cartes, le lac Aouro situé plus à l'ouest, a été trouvé asséché lors d'une mission effectuée en juin 1968. Des prospections plus complètes dans les mares temporaires de la région de Mao, et un peu plus au Nord, de Ntiouna et Zigey, permettraient de savoir dans quelle mesure ces milieux sont susceptibles de donner naissance à de fortes densités de Spirulines.

2. CARACTÉRISTIQUES DES PEUPELEMENTS

2.1. Densité.

La principale caractéristique des peuplements à *O. platensis* est la densité considérable qu'ils peuvent atteindre. Tous les auteurs qui ont observé des lacs à Spirulines signalent la couleur verte et l'aspect de « soupe verte » présenté par ces lacs. Au Tchad, le disque de Secchi disparaît en général à quelques centimètres de la surface dans ces milieux. D'après les observations effectuées à Ounianga Kébir (LÉONARD, 1967) et dans le Kanem (ILTIS, 1969), le peuplement algal est réparti sur toute l'épaisseur de la couche d'eau. Mais les Spirulines récoltées et cultivées en laboratoire dans leur eau d'origine s'amassent en surface et forment une mince pellicule verte. Ce phénomène se produit aussi dans les cultures en milieu artificiel et permet ainsi une récolte facile (VAN LANDEGHEM, 1969). Les processus de la montée en surface de l'algue, le rôle des vacuoles gazeuses et les facteurs qui interviennent dans leurs modifications sont encore mal connus.

Au Tchad, les numérations ont été utilisées pour évaluer la densité des peuplements. Après dilution des prélèvements, le nombre de filaments a été compté au microscope inversé type Utermöhl. Les valeurs obtenues ont été converties en nombre de filaments par litre, puis, après estimation du volume moyen de celui-ci dans chacun des échantillons recueillis, en biomasse ou plus exactement en biovolume de Spirulines exprimé en microlitres par litre, un microlitre étant l'équivalent de $10^9 \mu^3$ et correspondant sensiblement à 1 milligramme de Spirulines vivantes. Le volume moyen des filaments spiralés de *O. platensis* est très variable. Il peut atteindre $28.500 \mu^3$ dans certains échantillons du lac de Rombou et à certaines époques $2500 \mu^3$ seulement dans des mares temporaires où les spirales se déroulent en partie et se fractionnent. Dans l'état de nos connaissances actuelles, aucune relation n'a été trouvée entre la taille des filaments et la salinité ou la densité du peuplement ; dans chaque lac permanent, la taille paraît peu varier autour d'une valeur moyenne caractéristique du lac ; la taille moyenne la plus élevée a été trouvée dans le lac de Rombou.

Les biomasses en Spirulines trouvées dans les différents milieux étudiés sont les suivantes en microlitres par litre :

1. LAC PERMANENTS (tableau VI).

TABLEAU VI

	D 1966	J 1967	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J 1968	F	M	A	M	J
Lac de Rombou.	140	7,3	0,02	0,07	0,01	0,04	17,7		33,9	129	206	253	223	180	255	194	215		490
Lac de Bodou...			748	704	710	667	714	579	853	479	939	826		868	1020	785	969		963
Ouadi de Liwa...			7,2	8,3	9,4	199	145	428	93		617	241	153	15	36	39	3,7		

La densité moyenne pour l'ensemble des prélèvements effectués en 67-68 est de $138 \mu\text{l/l}$ pour le lac de Rombou, $779 \mu\text{l/l}$ pour le lac de Bodou et $142 \mu\text{l/l}$ pour l'ouadi de Liwa. Des prélèvements occasionnels faits ces dernières années ont montré les densités suivantes :

Rombou	25-11-65	$110,3 \mu\text{l/l}$
Rombou	13- 1-66	$9,0 \mu\text{l/l}$
Rombou	30- 4-66	$85,5 \mu\text{l/l}$
Rombou	21- 1-69	$354,3 \mu\text{l/l}$
Bodou	22- 1-69	$623,0 \mu\text{l/l}$

2. MARES TEMPORAIRES (tableau VII).

TABLEAU VII

	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Moyenne
Mare Latir 1964-65.....			0	15,4	226	0,6	27	125	59,9	4,5	116	25,4	60
1965-66.....	0	0	0,4	63,9	623	256	120	93,5	109	231	16,2		151
1966-67.....		0	0	0	0								0
1967-68.....			0	0	6,9	11,4	7,9	0,7	0				4

	D 1966	J 1967	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J 1968	F	M	Moyenne
Mare de Maou-Leyla.....	997		1138		198	0		0		0	120	345	4,3	468	313	117	312

Dans des prélèvements effectués occasionnellement dans quelques autres mares temporaires, on a observé :

— Mombolo. 2 ^e mare.	25- 2-67	1917 μ l/l
— Mare de Moro.	9- 2-68	85,7 μ l/l
— Mare d'Iseirom	23-12-66	1197 μ l/l
— Mare d'Iseirom	21- 1-67	4329 μ l/l

Parmi les lacs permanents, le lac de Bodou dont les eaux ont la plus forte concentration en sels (39 g/l en moyenne en 1967), possède les peuplements les plus denses. Le lac de Rombou, moins natroné (18 g/l en moyenne en 1967) a des peuplements bien moins importants, les Spirulines étant absentes à certaines époques de l'année. On peut donc estimer grossièrement à 0,5 gramme par litre la biomasse en Spirulines vivantes dans les lacs permanents, étant entendu que ces estimations sont faites en pleine eau, en dehors du voisinage des bords où les Spirulines poussées par le vent peuvent s'accumuler en soupe épaisse. On a ainsi pu compter sur la rive exposée aux vents dominants des densités de 20 grammes de Spirulines vivantes par litre dans le lac de Bodou en décembre 1967.

Dans les mares temporaires, les quantités sont plus faibles. Elles semblent varier avec la durée de la période de pleine eau de la mare. Ainsi, la densité moyenne la plus forte a été trouvée dans l'ouadi de Maou-Leyla qui reste en eau presque toute l'année, alors que dans la mare de Latir où la période en eau n'était que de quatre mois en 1966, *O. platensis* n'est pas apparu (ILTIS, 1970). De très fortes densités de Spirulines sont trouvées dans certaines mares (Iseirom le 21-1-67 par exemple) dans la période qui précède de peu leur assèchement ; il s'agit là de peuplements beaucoup moins denses qui ont été concentrés par l'évaporation rapide du milieu avant que les processus d'auto-destruction n'interviennent.

2.2. Organismes coexistants.

Si l'on filtre à l'aide d'un filet à plancton l'eau de différents lacs présentant un peuplement très dense à *O. platensis*, on s'aperçoit que les quantités de plancton obtenues par ce moyen sont de loin supérieures au poids de Spirulines estimé par comptage au microscope. Ainsi, dans le lac de Bodou, à des périodes où il n'existe, d'après les numérations effectuées, que 0,5 à 1 gramme de Spirulines pures, il n'est pas rare de trouver par pesée de filtrats 2 à 3 grammes de plancton frais par litre. Ces valeurs élevées sont dues surtout à la quantité d'eau assez importante qui reste

emprisonnée par effet de capillarité entre les spirales des algues et, par ailleurs, aux organismes étrangers qui se trouvent mêlés aux peuplements à *O. platensis*. Parmi ces derniers, on trouve tout d'abord des algues : plus de cent espèces, variétés ou formes ont été inventoriées dans ces milieux ; les plus fréquentes sont des Cyanophycées : *Anabaenopsis arnoldii*, *Oscillatoria plur. sp.*, une Diatomée, *Anomoeoneis sphaerophora*, une Chrysophycée : *Sphaeroeca sp.* et des Pyrrophytes : *Gymnodinium sp* et *Cryptomonas sp.* Les Rotifères sont parfois abondants ; *Brachionus dimidiatus* est le plus fréquent, accompagné par *Brachionus plicatilis* et *Hexarthra jenkiniae*. Une sulfobactérie *Lamprocystis roseo persicina* est très abondante dans le peuplement algal des lacs de Bodou et Rombou ; elle colore en violet les branchages immergés et à certaines époques, la vase humide des rives. Enfin un certain nombre de débris végétaux, des restes d'insectes (larves de moustiques et de chironomides) et des nématodes aquatiques se trouvent également mêlés aux Spirulines. Au cours des numérations au microscope effectuées sur les échantillons récoltés dans le Kanem, nous avons trouvé les proportions suivantes de *O. platensis* par rapport à l'ensemble du volume de plancton, bactéries et débris non compris (tableau VIII).

TABLEAU VIII

	D 1966	J 1967	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J 1968	F	M	A	M	J	Mo.
Lac Bodou...			99 %	99 %	98 %	99 %	100 %	100 %	100 %	100 %	99 %	82 %		99 %	97 %	94 %	98 %		99 %	97,6
Lac Rombou.	76 %		14 %	0 %	0 %	0 %	0 %	18 %	20 %	65 %	67 %	74 %	67 %	80 %	78 %	87 %	61 %		85 %	46,6
Mare Latir...									0 %	0 %	2 %	3 %	1 %	1 %	1 %					1,0
Mare Maou																				
Leyla.....	97 %		79 %		31 %	0 %		1 %		0 %	62 %	77 %	12 %	90 %	67 %	15 %				44,1

Durant les années précédentes, on a trouvé les valeurs suivantes dans le plancton de la mare de Latir (tableau IX).

TABLEAU IX

	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Moy.
1964-65.....			0 %	21 %	67 %	1 %	18 %	33 %	13 %	2 %	53 %	11 %	21,8
1965-66.....	0	0	1 %	29 %	76 %	57 %	49 %	13 %	18 %	36 %	23 %		27,3
1966-67.....		0	0	0	0								0

A titre indicatif, dans les mares où des prélèvements occasionnels ont été faits, les pourcentages de *O. platensis* sur l'ensemble du plancton, étaient les suivants :

Mare de Moro	9- 2-68	38 %
Mare de Mombolo (2 ^e lac)	25- 2-67	95 %
Mare d'Iseirom	23-12-67	87 %
Mare d'Iseirom	21- 1-67	95 %
Ouadi Nord de Latir	14- 1-65	0 %
Ouadi Nord de Latir	13- 8-65	0 %
Ouadi Nord de Latir	14- 9-65	1 %

On trouve donc les peuplements à Spirulines les plus purs dans les milieux suivants classés par ordre décroissant : les lacs permanents (Bodou et Rombou, le pourcentage de Spirulines étant plus élevé dans celui dont la salinité est la plus forte) les mares temporaires à longue période de pleine eau (Maou-Leyla et Latir 1965-66) et enfin les mares temporaires ayant une courte période de pleine eau.

2.3. Vitesse de formation.

Nous disposons à ce sujet de fort peu de données. Les peuplements denses à *Spirulines* sont-ils le résultat d'un lent développement ou au contraire d'un équilibre dynamique entre production et pertes ? Quelle sera la vitesse de renouvellement après une récolte importante dans ces milieux où subsisteront les substances extra-cellulaires sécrétées par les algues du peuplement récolté ? Les seuls résultats connus à ce jour ont été donnés par WOOD (1968) d'après des travaux effectués sur le lac Aranguadi, un lac de cratère d'Éthiopie contenant un peuplement important à *O. platensis* ; la production d'oxygène dans des flacons clairs a été comparée avec celle de flacons sombres et les variations nyctémérales de la teneur en oxygène ont été mesurées à l'aide d'une cellule de Mackereth. L'auteur signale les difficultés rencontrées dans l'utilisation de la méthode des flacons par suite de l'effet de confinement qui est considérable dans ces milieux à forte densité planctonique : des inexactitudes sont causées par la présence de bulles d'oxygène sur les parois des flacons, même avec des temps d'exposition très faible, de l'ordre d'une demi-heure. La production nette se situe entre 7 et 15 g C/m²/jour.

Au Tchad, les essais effectués dans le lac de Bodou avec une cellule de Mackereth n'ont jusqu'à présent pas donné de résultats cohérents et une sérieuse adaptation des méthodes à ces milieux particuliers serait nécessaire. Nous pouvons donc seulement analyser la vitesse d'installation des *Spirulines* dans les milieux étudiés d'après les estimations de la biomasse existant à l'époque des différents prélèvements. Encore faudra-t-il tenir compte, pour les milieux temporaires, des variations qui interviennent simultanément dans le volume d'eau des mares. Dans le tableau X sont reportés les renseignements concernant la vitesse d'installation d'un peuplement dans les différents milieux étudiés.

TABLEAU X

Lieu	Année	Biomasse en µ/l	Durée de formation en jours	Rendement moyen en mg/Spir/jour/l
Lac de Rombou.....	1967	253	150	1,687
Ouadi de Liwa.....	1967	617	252	2,448
Mare de Latir.....	1964	226	62	3,645
Mare de Latir.....	1965	623	61	10,213
Mare de Maou-Leyla.....	1967	345	69	5,00

Dans le lac de Rombou, le peuplement à *O. platensis* s'installe après une période de cinq mois de densité planctonique relativement faible où les genres *Oocystis* et *Cryptomonas* ont dominé. A Liwa, la densité algale est toujours forte mais les proportions de *Spirulines* par rapport aux autres algues sont très variables. Dans les mares temporaires, l'augmentation de la densité des *Spirulines* se fait corrélativement à une diminution du volume d'eau par évaporation. Malgré cela, on peut estimer que l'installation d'un peuplement dense s'effectue plus rapidement dans les mares temporaires que dans les lacs permanents. Dans ces derniers, le rendement journalier en *Spirulines* se situe entre 1,5 et 2,5 milligrammes par litre. Il n'est pas sûr que ces valeurs soient du même ordre dans des peuplements se reformant après une récolte importante, les substances libérées par le peuplement précédent étant susceptibles d'entraver, ou d'accélérer, le développement suivant.

Ces connaissances très fragmentaires demanderaient donc que des études plus approfondies soient poursuivies sur ce sujet.

3. UTILISATION LOCALE

C'est DANGEARD (1940) qui le premier signale au Tchad l'utilisation de la Spiruline pour l'alimentation humaine. Il mentionne l'existence d'algues séchées appelées dihé (ou parfois « douhé ») achetées par le pharmacien des troupes coloniales Creach sur le marché de Massakong (Massakory?). Ce produit est composé, d'après la détermination faite par FRÉMY, d'*Arthrospira platensis*, ancien nom de *O. platensis*. En 1959, BRANDILY décrit la récolte des Spirulines dans le lac de Rombou près de Mao et la préparation des galettes séchées. Faute d'observations microscopiques, il pense qu'il s'agit de Chlorelles. Le ROUVREUR (1962), dans une étude sur les ethnies de la partie nord du Tchad, signale la récolte du dihé par les Kadjidi, petite peuplade dispersée dans tout le Kanem et plus particulièrement en bordure du lac Tchad. Ces algues séchées feraient l'objet d'un important commerce vers le Nigeria et le Bahr el Ghazal. En mars 1963, des souches de *S. platensis*, déterminées par erreur sous le nom de *Spirulina maxima*, sont récoltées à Rombou pour le compte de l'Institut Français du Pétrole en vue d'essais de culture massive en milieu artificiel (ZARROUK, 1966). A la fin de l'année 1963, les hydrobiologistes de l'O.R.S.T.O.M., installés à Fort-Lamy remarquent ces galettes d'algues sur plusieurs marchés du Kanem et en déterminent le principal composant. Les observations sur le plancton d'une mare temporaire à Spirulines située près de Bol dans le sud Kanem débutent en juillet 1964. A la fin de la même année, LÉONARD (1966) de passage au Tchad, fait l'acquisition de dihé sur le marché de Fort-Lamy, en récolte dans les lacs de la région d'Ounianga Kébir et fait procéder aux analyses de valeur alimentaire (LÉONARD et COMPÈRE, 1967). Depuis cette date, les études concernant *O. platensis* se sont poursuivies tant sur leur milieu biologique naturel que sur leur culture en milieu artificiel et leur valeur nutritive. Des études cytologiques et cytochimiques ont été entreprises (MARTY et BUSSON, 1970). Plusieurs communications sur l'utilisation alimentaire de cette algue ont été présentées à une réunion du Conseil Suédois pour la Recherche Appliquée qui s'est tenue à Stockholm en juin 1968.

Ailleurs qu'au Kanem, l'utilisation de *O. platensis* dans l'alimentation humaine n'a pas été observée bien que d'importantes quantités de Spirulines aient été signalées dans différents lacs d'Afrique et d'Amérique du Sud (RICH, 1932 — THOMASSON, 1960). Son utilisation comme nourriture par les oiseaux, flamants et canards sauvages, a été remarquée (JENKIN, 1929 — LÉONARD, 1967).

Autrefois, une espèce voisine, *O. maxima* « servait d'appoint alimentaire aux habitants de Tenochtitlan, l'actuelle Mexico presque isolée alors au milieu des eaux à Spirulines » (GARSON *et al.*, 1969).

Dans les lacs du Kanem, la récolte de *O. platensis* en vue de la confection de galettes de dihé s'effectue de la façon suivante : les Spirulines poussées par les vents qui soufflent régulièrement du nord-est durant la saison sèche (novembre à avril) et du sud-ouest durant la saison des pluies (début juillet à fin septembre) s'accumulent contre les rives exposées au vent. Elles forment là une soupe épaisse, presque une pâte molle dont la densité diminue à mesure que l'on s'éloigne de la rive. A la suite de prélèvements effectués dans cette bordure, LÉONARD (1968) cite les quantités d'algues séchées suivantes (1) : 40 grammes par litre dans la partie la plus épaisse, 1,6 grammes un peu plus au large et 0,5 gramme vers le centre du lac. A la suite des renseignements

(1) On ne connaît pas encore actuellement pour *O. platensis* le rapport poids d'algue fraîche sur poids sec. ZARROUK (1966) donne une relation entre la densité optique (D. O.) des cultures, mesurée au spectrophotomètre, et le poids sec obtenu après évaporation et séchage à l'étuve portée à 105 °C. Une unité D.O. correspond à 700 mg de Spiruline sèche par litre. De plus, dans le cas de *O. platensis*, une Unité Shibata (en abrégé U.S.), unité de mesure de la concentration des cultures d'algues, correspond à 0,7 mg/l.

obtenus auprès des populations locales, il n'a pas été possible de savoir si la formation d'amas de Spirulines, et par conséquent les récoltes, avaient lieu dans les lacs plus fréquemment à certaines périodes de l'année plutôt qu'à d'autres. Nous avons personnellement observé la récolte à Rombou aussi bien en décembre qu'en juin. D'après des observations faites sur les marchés locaux, il semble que le dihé soit abondant en début d'année. Ce fait est probablement dû à l'assèchement à cette époque de bon nombre de mares temporaires, la densité des algues se concentrant dans un volume d'eau de plus en plus faible facilitant les récoltes durant la période qui précède directement l'assec. Toutefois des observations plus précises sur l'ensemble de ce sujet seraient nécessaires.

Pour la confection des galettes, les riverains creusent dans le sable sec voisin des berges une série de petites dépressions peu profondes de 50 à 90 cm de diamètre dans lesquelles ils déversent la pâte verte prélevée dans le lac à l'aide d'un seau ou d'une calebasse. Ils égalisent à la main la surface exposée au soleil et après quelques instants, tracent avec le doigt un quadrillage assez grossier qui leur permettra de fractionner la galette une fois sèche. L'eau qui restait incluse dans la pâte s'infiltre dans le sable et au bout de quelque temps, la surface de la galette desséchée présente en général la teinte bleu-vert caractéristique des Cyanophycées. Elle est alors retirée du sable et fragmentée en un certain nombre de carrés de 10 centimètres de côté environ sur un à deux centimètres d'épaisseur. Ces morceaux sont exposés au soleil pour un complément de séchage sur une natte ou des herbes coupées. Sur les marchés, le dihé est vendu par petits tas sous forme de morceaux bleu-vert sans forme définie, les carrés qui existaient au départ se fragmentant en cours de transport. Des grains de sables provenant du séchage adhèrent le plus souvent à la partie inférieure du produit. Outre ceux-ci, un certain nombre d'impuretés existent dans le dihé. Comme on l'a vu plus haut, du zooplancton, d'autres espèces d'algues, des débris divers se trouvent mêlés aux peuplements à Spirulines les plus denses. LÉONARD et COMPÈRE (1967) signalent des impuretés (algues, débris d'insectes) dans quelques galettes étudiées. Il serait intéressant de savoir dans quelle mesure ces éléments étrangers peuvent altérer les qualités nutritives du produit. Il conviendrait aussi de connaître dans quelles proportions les organismes qui sont mêlés à *O. platensis* dans le milieu se trouvent dans la pâte récoltée au bord pour la préparation du dihé. Il est fort possible que les Spirulines étant poussées par le vent le long des rives après montée en surface, une part des organismes étrangers ne soit pas entraînée dans ces mouvements et reste au centre du lac ou de la mare tandis que les Spirulines s'accumulent sur le bord.

Nous avons trouvé des Spirulines séchées sur les marchés de Mao, Ngouri, Njigidada, Dibinintchi et Massakory, et très rarement à Bol, mais il n'y a pas eu de prospection systématique dans tout le Kanem. Nous avons constaté l'absence de ce produit sur les marchés de Ngarangou, Baga Sola et Liwa. Le lac de Bodou situé près de cette dernière localité n'est pas exploité malgré la densité importante de son peuplement à *O. platensis*. Au nord du lac Tchad, la Spiruline séchée n'a pas été trouvée sur le marché de Nguigmi au Niger. A Fort-Lamy, on trouve du dihé en petite quantité au marché du château d'eau et depuis 1968 dans le magasin de la Société Nationale de Commerce du Tchad (Sonacot). Les Spirulines des lacs de la région d'Ounianga Kébir n'étant pas récoltées (LÉONARD, 1967), l'utilisation de cette algue pour l'alimentation paraît donc limitée à la partie orientale du Sud Kanem. Elle n'entre pour l'instant dans les habitudes alimentaires que d'une fraction très réduite de la population tchadienne.

En ce qui concerne leur mode d'utilisation dans l'alimentation, les Spirulines entrent dans la confection d'une sauce qui accompagne la boule de mil ou de blé traditionnelle. Les morceaux de dihé sont pilés dans un mortier et la poudre obtenue est versée dans un récipient d'eau et mise à cuire. Ensuite, le liquide obtenu est mélangé à des tomates, des oignons, du gombo et du piment pour former une sauce vert-clair. En cours de confection, les grains de sable adhérent au dihé restent au fond du mortier ou du récipient de cuisson et sont ainsi éliminés. Les Spirulines séchées sont donc utilisées comme condiment et les quantités consommées durant un repas par une personne sont finalement assez réduites (de l'ordre de 10 à 20 grammes?).

La valeur alimentaire du dihé est apparue très élevée lors des analyses chimiques effectuées. Les résultats des analyses faites par le laboratoire inter-communal de chimie et de bactériologie à Bruxelles sur les Spirulines séchées provenant du marché de Fort-Lamy (n° 3814) et du lac Yoan (n° 3832) à Ounianga Kébir sont les suivants (LÉONARD et COMPÈRE, 1967) (tableau XI).

TABLEAU XI

Échantillon n°	% du produit brut		% de la matière sèche moins les cendres insolubles dans HCl.	
	3814	3832	3814	3832
Humidité.....	8,17	10,6	—	—
Cendres moins les cendres insolubles dans HCl.....	8,88	17,04	13,9	17,96
Matières grasses.....	3,91	4,62	5,94	5,18
Matières azotées (f. 6,25).....	32,3	39,7	49	44,51
N volatil en NH ₃	0,12	—	0,18	—
Hydrates de carbone totaux après hydrolyse (en glucose).....	10,8	18,5	16,41	20,7
Cellulose (Belluci).....	0,5	0,23	0,7	0,25
Cendres insolubles dans HCl (sable)...	26,0	0,2	—	—
Alcalinité des cendres, en Na ₂ CO ₃	4,99	5,7	7,58	6,4
Chlorures, en NaCl.....	1,15	4,3	1,56	4,7
Pouvoir calorifique.....	2068 cal/kg	2744 cal/kg	3141 cal/kg	3365 cal/kg

Les pourcentages de matières azotées représentent presque exclusivement des protéines. Les acides aminés suivants ont été mis en évidence : leucine, isoleucine, valine, acide glutamique, alanine, glycine, lysine et arginine.

Des analyses détaillées (CLÉMENT, GIDDEY et MENZI, 1967) ont été effectuées sur des algues séchées provenant de cultures en milieu artificiel faites par l'Institut Français du Pétrole à partir de souches tchadiennes. Ce matériel contenait en pourcentage de matière sèche, 62 % de protéines, 18 à 20 % de glucides, 2 à 3 % de lipides et des sels minéraux. Les vitamines A, B₁, B₂, B₆, B₁₂, C y ont été mises en évidence.

L'analyse a montré la présence et les quantités d'acides aminés suivantes pour 100 grammes de protéines :

Isoleucine.....	6,03 g	Total acides aminés soufrés....	1,80 g
Leucine.....	8,02 g	Methionine.....	1,37 g
Lysine.....	4,59 g	Thréonine.....	4,56 g
Phénylalanine.....	4,97 g	Tryptophane.....	1,40 g
Tyrosine.....	3,95 g	Valine.....	6,49 g

Des dosages effectués par le laboratoire de Recherches Biochimiques du Pharo à Marseille (GARSON, MAIGROT, BUSSON, 1969) sur des Spirulines cultivées ont donné les résultats suivants (moyenne de 3 dosages) en pourcentage de matière sèche :

- Humidité : 10 % environ.
- Azote p. 100 : 10,35.
- Protéines « brutes » p. 100 (N×6,25) : 64,7.
- Acides aminés exprimés par rapport à N = 16, p. 100 :

Acide aspartique.....	9,8	Isoleucine.....	5,9
-----------------------	-----	-----------------	-----

Thréonine.....	5,0	Leucine.....	9,2
Sérine.....	5,1	Tyrosine.....	4,9
Acide glutamique.....	15,5	Phénylalanine.....	5,0
Proline.....	4,0	Lysine.....	4,9
Glycine.....	5,1	Histidine.....	1,6
Alanine.....	8,0	Arginine.....	7,2
½ Cystine.....	0,7	Tryptophane.....	0,8
Valine.....	6,3	Acide $\alpha \alpha'$ diaminopimélique.....	0,7
Méthionine.....	2,3		

Enfin, la section Nutrition de l'O.R.S.T.O.M. à Yaoundé (Cameroun) a pratiqué en 1969 des analyses sur un échantillon de dihé provenant d'un magasin de Fort-Lamy. Les valeurs données dans le tableau XII représentent la moyenne de quatre analyses, les valeurs extrêmes étant indiquées entre parenthèses.

TABLEAU XII
Composition chimique globale du dihé de la Sonacot à Fort-Lamy (Tchad)

	Pour 100 g de produit tel quel	Pour 100 g de matière sèche, insoluble chlorhydrique inclus	Pour 100 g de matière sèche, insoluble chlorhydrique exclus
Humidité (g).....	14,9 (7,4-25,4)	0	0
Protéines (g).....	28,3 (21,6-35,7)	33,3 (28,9-42,8)	48,1 (43,8-55,0)
Lipides (g).....	0,8 (0,1-2,3)	1,0 (0,1-2,8)	1,4 (0,1-3,6)
Cendres (g).....	36,7 (32,8-39,4)	43,1 (39,0-51,3)	17,7 (13,0-22,0)
Cendres sans insoluble chlorhydrique (g).....	10,4 (8,4-14,2)	12,2 (9,1-17,1)	17,7 (13,0-22,0)
Glucides par différence.....	19,3	22,6	32,8
<i>Diverses formes d'azote</i>			
Azote total.....	4,53 (3,46-5,71)	5,32 (4,63-6,84)	7,70 (7,00-8,80)
Azote non protidique (g).....	1,15 (0,85-1,23)	1,35 (1,14-1,38)	1,96 (1,82-2,10)
Azote protidique (g).....	3,38	3,97	5,74
Azote volatil total (mg).....	45 (18-100)	53 (22-134)	77 (28-214)
Azote triméthylaminé (mg).....	0,0	0,0	0,0
<i>Composition chimique minérale</i>			
Chlorures (exprimés en g de NaCl).....	0,8 (0,6-1,0)	1,0 (0,6-1,3)	1,4 (0,9-1,8)
Insoluble chlorhydrique (g).....	26,3 (18,6-30,8)	30,9 (22,3-37,6)	—
Calcium (mg).....	260 (80-420)	300 (100-460)	400 (160-650)
Phosphore (mg).....	460 (430-500)	550 (470-630)	790 (660-1010)
Fer (mg).....	77,1 (37,8-128,9)	90,6 (50,6-143,8)	131,2 (81,1-219,3)

	Pour 100 g de produit tel quel	Pour 100 g de matière sèche, insoluble chlorhydrique inclus	Pour 100 g de matière sèche, insoluble chlorhydrique exclus
<i>Composition en vitamines</i>			
Thiamine ou vit. B ₁ (mg).....	0,053	0,063	0,091
Riboflavine ou vit. B ₂ (mg).....	1,04 (0,66-1,33)	1,22 (0,89-1,48)	1,76 (1,43-2,26)
Niacine ou vit. PP (mg).....	4,5 (3,4-6,4)	5,3 (4,5-7,1)	7,7 (6,4-10,9)
Acide ascorbique ou vit. C (mg)....	5,8 (5,3-6,3)	6,9 (5,7-7,6)	9,9 (8,1-11,9)

On peut considérer que 50 % du poids de matière sèche est composé de protéines ; les analyses montrent même, pour des Spirulines cultivées en milieu artificiel, des pourcentages supérieurs (CLÉMENT *et al.*, 1967 — WOUTERS, 1969 — GARSON, MAIGROT, BUSSON, 1969). Ces derniers sont-ils dus au fait qu'il s'agit de matériel obtenu en culture pure ? La présence d'organismes étrangers (algues, bactéries, débris) dans le dihé récolté au Tchad peut-elle nuire à la qualité nutritive du produit ? Là aussi, les connaissances actuelles sont à peu près inexistantes.

Enfin, les observations au microscope des prélèvements effectués ont permis d'inventorier des formes voisines d'*O. platensis*. La variété *minor* (RICH, 1932) de cette espèce a été déterminée dans des milieux un peu moins concentrés (Lac de Djikare, près de Liwa par exemple) que ceux où se développe l'espèce-type. Cette algue forme également des peuplements très denses et des amas le long des rives ; éventuellement, ses qualités nutritives pourraient être analysées et comparées avec celles de *O. platensis*. Nous n'avons aussi aucun renseignement sur *Anabaenopsis arnoldii* qui se trouve parfois mêlé aux Spirulines en proportions importantes alors que certaines espèces d'un genre très voisin, *Anabaena*, sont considérées comme toxiques.

CONCLUSIONS

Au Tchad, *Oscillatoria platensis* se développe dans les eaux stagnantes riches en carbonates et bicarbonates de sodium et à pH élevé. C'est une algue thermophile, à la fois halophile et euryhaline. Elle forme des peuplements très denses et, dans la partie sud-est du Kanem, les Spirulines accumulées le long des rives sont récoltées, séchées au soleil et utilisées dans l'alimentation humaine par une partie de la population. La teneur en protéines de ce produit est élevée. D'après les numérations et les estimations de volume effectuées au microscope, des densités de 0,5 à 1 ml de Spiruline pure par litre existent dans les lacs natronés.

A l'intérieur des limites de tolérance de salinité de cette espèce, les lacs ayant les eaux les plus riches en sels possèdent les peuplements les plus denses et les plus purs. Un peuplement dense installé depuis longtemps dans un lac peut parfois disparaître durant plusieurs mois. Dans les mares temporaires, cette Cyanophycée apparaît et peut atteindre une forte densité si la période en eau est suffisamment longue (3 mois minimum) ; toutefois la proportion d'organismes étrangers dans le peuplement à Spirulines y est en général plus forte que dans les lacs permanents.

De nombreuses études sont encore nécessaires en vue de la connaissance de la biologie de cette algue bleue, en particulier les facteurs influant sur sa multiplication en milieu naturel, et l'amélioration des qualités nutritives du produit qui en est issu. D'autre part la production réelle et potentielle du Tchad devra être estimée. Les essais de développement de la production

d'algues séchées et les questions de commercialisation devront être étudiées en fonction du sous-équipement actuel des régions productrices. Enfin, la consommation de ce produit riche en protéines ne pourra se répandre que par son adaptation aux goûts et aux habitudes alimentaires d'un plus grand nombre d'ethnies.

REMERCIEMENTS.

Je remercie M. BOURRELLY, du laboratoire de Cryptogamie du Muséum National d'Histoire Naturelle, M. LÉONARD, du Jardin Botanique National de Belgique, M. DUSSART du C.N.R.S., M. MAGLIONE, Géologue de l'O.R.S.T.O.M. et MM. les Nutritionnistes du Centre O.R.S.T.O.M. de Yaoundé pour l'aide et les renseignements qu'ils m'ont apportés.

Manuscrit reçu le 9 novembre 1970.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles généraux.

- BOURRELLY (P.), 1970. — Les Algues d'eau douce. 3. Algues bleues et rouges. N. Boubée et C^{ie}. Paris, 512 p. 137 pl.
- COZZONE (A.), BUSSON (F.), 1969. — Sur l'étude de l'équipement protéique d'une Cyanophycée : *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 269, 573-576.
- COZZONE (A.), BUSSON (F.), 1970. — Fractionnement chromatographique des protéines de *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 270, 154-157.
- ENEBO (L.), 1968. — Conclusions made at the conference on « Preparing Nutritional Protein from *Spirulina* ». Laboratory for Applied Microbiology of the Swedish Council for Applied Research, Stockholm, 13-15 June.
- GARSON (J.), MAIGROT (M.), BUSSON (F.), 1969. — Cyanophycées utilisables dans l'alimentation humaine. *Med. Trop.* 29, 536-539.
- HEDENSKOG (G.), HOFSTEN (A. V.), 1970. — The Ultrastructure of *Spirulina platensis*. A New source of Microbial Protein. *Physiol. Plant.*, 23, 209-216.
- KUFFERATH (J.), 1951. — Représentation graphique et classification chimique rationnelle en types des eaux naturelles. *Bull. Inst. roy. Sci. nat. Belg.*, 27, 43-44-45, 22 p.
- LAQUERBE (B.), BUSSON (F.), MAIGROT (M.), 1970. — Sur la composition en éléments minéraux de deux Cyanophycées, *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler et *Sp. Geitleri* J. de Toni. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 270, série D, 2130-2132.
- LOFTAS (T.), 1969. — La protéine monocellulaire a des problèmes. *CERES*. FAO. 2, 5, 48-51.
- MARTY (F.), BUSSON (F.), 1970. — Données cytologiques et systématiques sur *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler et *Spirulina Geitleri* J. de Toni. (Cyanophyceae). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 270, sér. D, 6, 786-789.
- PALLA (J. C.), BUSSON (F.), 1969. — Étude des caroténoïdes de *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler (Cyanophycées). *C.R. Acad. Sci.*, D, 269, n° 17, 1704-1707.
- PALLA (J. C.), MILLE (G.), BUSSON (F.), 1970. — Étude comparée des caroténoïdes de *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler et de *Spirulina Geitleri* J. de Toni (Cyanophycées). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 270, 1038-1041.
- PINTA (M.), BUSSON (F.), 1969. — Note préliminaire sur la composition en éléments minéraux et oligo-éléments de *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler et de *Spirulina maxima* (Setch. et Gardn.) Geitler. *Med. trop.* 29, 617-619.
- SHIBATA (K.), 1969. — Spectrophotometry of translucent, biological material opal glass transmission method. *Methods biochem. Anal.*, 7, 77-109.
- VOLLENWEIDER (R. A.), 1960. — Beiträge zur Kenntnis optischer Eigenschaften der Gewässer und Primärproduktion. *Mem. Ist. ital. Idrobiol.*, 12, 201-244.
- WOUTERS (J.), 1969. — Influence du milieu minéral sur le rendement pondéral et le spectre des acides aminés de *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler. *Ann. Physiol. vég. Univ. Bruxelles.*, 14, 4, 85-105.

Afrique.

- ANONYME, 1967. — A new type of food algae. *Publ. I.F.P.*, 9 p.
- BAXTER (R. M.), WOOD (R. B.), 1965. — Studies on stratification in the Bishoftu Crater Lakes, in « The application of biological research to the development of East Africa » *J. appl. Ecol.* 2, 2, p. 416.
- BEADLE (L. C.), 1932. — Scientific result of the Cambridge Expedition to the East African Lakes 1930-31. The waters of some East African Lakes in relation to their fauna and flora. *J. linn. Soc. (Zool.)*, 38, 157-211.
- BRANDILY (M. Y.), 1959. — Depuis des lustres, une tribu primitive du Tchad exploite la nourriture de l'an 2000. *Sciences et Avenir*, 152, 516-519.
- CAPOT-REY (R.), 1961. — Borkou et Ounianga. Étude de géographie régionale. *Inst. Rech. sahariennes*. Alger, Mem. 5, 182 p.
- CLEMENT (G.), 1970. — Une algue à haute teneur en protéines. *Science, Progrès, Découverte*, 3423, 38-46.
- CLÉMENT (G.), DURAND-CHASTEL (H.), HENNY (V.), 1968. — Une nouvelle algue alimentaire. 9^e Symposium International « Les sources nouvelles de protéines dans l'alimentation humaine ». Amsterdam, Novembre.
- CLÉMENT (G.), REBELLER (M.), TRAMBOUZE (P.), 1967. — Amino Acid Composition and Nutritive Value of the Alga *Spirulina maxima*. *J. Sci. Food. Agric.* 18, 11, 497-501.
- CLÉMENT (G.), REBELLER (M.), LAPEYRONNIE (M.), ZARROUK (C.), 1966. — Procédé de culture d'algues en milieu synthétique. Brevet d'invention délivré par arrêté du 3 octobre 1966, Service de la Propriété industrielle, Ministère de l'Industrie, République Française.
- CLÉMENT (G.), REBELLER (M.), TRAMBOUZE (P.), 1967. — Utilisation massive du gaz carbonique dans la culture d'une nouvelle algue alimentaire. 7^e Congrès Mondial du Pétrole, Mexico, avril 1967, P.D. 37, n° 6.
- COMPÈRE (P.), 1967. — Algues du Sahara et de la région du lac Tchad. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.* 37, 2, 109-288.
- COMPÈRE (P.), 1968. — Une algue bleue (Cyanophyceae) intéressante pour la production de protéines : *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler. Rapports de la 6^e réunion de coordination et symposium scientifique sur le thème VI.5.5. « Physiologie des cultures d'algues à haut coefficient d'utilisation de la lumière » à Varna. Sofia.
- DANGEARD (P.), 1940. — Sur une algue bleue alimentaire pour l'homme : *Arthrospira platensis* (Nordst.) Gomont. *Actes Soc. linn. Bordeaux*, 91, 39-41.
- DUVIGNEAUD (P.), SYMOENS (J. J.), 1948. — Cyanophycées. Exploration du Parc National Albert, Mission J. Lebrun 1937-38. 10, 35 p.
- ILTIS (A.), 1968. — Tolérance de salinité de *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler (Cyanophyta) dans les mares natronées du Kanem (Tchad). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, II, 3-4, 119-125.
- ILTIS (A.), 1969. — Phytoplankton des eaux natronées du Kanem (Tchad). I. les lacs permanents à Spirulines. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.* III, 2, 29-44.
- ILTIS (A.), 1969. — Phytoplankton des eaux natronées du Kanem (Tchad) II. Les mares temporaires. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.* III, 3-4, 3-19.
- ILTIS (A.), 1970. — Phytoplankton des eaux natronées du Kanem (Tchad) III. Variations annuelles du plancton d'une mare temporaire. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Hydrobiol.*, IV, 2, 53-59.
- JENKIN (P. M.), 1929. — Biology of lakes in Kenya. *Nature* 124, p. 574.
- JENKIN (P. M.), 1932. — Report on the Percy Sladen Expedition to some Rift Valley lakes in Kenya in 1929. I. Introductory account of the biological survey of five freshwater and alkaline lakes. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, 10, 9, 533-553.
- JENKIN (P. M.), 1932. — Report on the Percy Sladen Expedition to some Rift Valley lakes in Kenya in 1929. VII. Summary of the ecological results with special reference to the alkaline lakes. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, 10, 18, 138-181.
- KIHLBERG (R.), 1968. — Preliminary studies of a *Spirulina* species from an Ethiopian lake as a source of protein for the growing rat. Communication à la réunion du Swedish Council for Applied Research, Stockholm, 15 p. multigr.
- LÉONARD (J.), 1966. — The 1964-65 Belgian Trans-Saharan Expedition. *Nature* 209, 126-127.
- LÉONARD (J.), 1968. — Discovery, ecology and nutritional utilization of *Spirulina platensis*. Communication à la réunion du Swedish Council for Applied Research, Stockholm, 11 p. multigr.
- LÉONARD (J.), COMPÈRE (P.), 1967. — *Spirulina platensis* (Gom.) Geitl. algue bleue de grande valeur alimentaire par sa richesse en protéines. *Bull. Jard. bot. Nat. Belg.*, 37, 1, suppl., 23 p.
- LE ROUVREUR (J.), 1962. — Sahariens et Sahéliens du Tchad. Berger Levrault Paris, 468 p.
- MAGLIONE (G.), 1968. — Présence de gaylussite et de trona dans les natronières du Kanem. *Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr.*, 91, 388-95.
- MAGLIONE (G.), 1969. — Premières données sur le régime hydrogéochimique des mares permanentes du Kanem (Tchad). *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Hydrobiol.*, III, 1, 121-141.

- MEYER, 1969. — Cultures de Spirulines. La valeur des récoltes. Quantité. Qualité. Prix de revient. Compte rendu de la séance d'étude de la section « Énergie solaire » de la société française des thermiciens. 5 p., multigr.
- POURRIOT (R.), ILTIS (A.), LÉVÊQUE-DUWAT (S.), 1967. — Le plancton des mares natronées du Tchad. *Internation. Rev. Ges. Hydrobiol.*, 52, 4, 535-543.
- RICH (F.), 1931. — Notes on *Arthrospira platensis*. *Rev. algol.*, 6, 75-79.
- RICH (F.), 1932. — Phytoplankton from the Rift Valley lakes in Kenya. Reports on the Percy Sladen Expedition to some Rift Valley lakes in Kenya in 1929. *Ann. Mag. Nat. Hist.* 10, 10, 233-262.
- RICH (F.), 1933. — Scientific results of the Cambridge Expedition to the East African lakes 1930-31. 7, The Algae. *J. linn. Soc. (Zool.)*, 38, 249-275.
- ROSS (R.), 1955. — The algae of the East African Great Lakes. *Trav. Ass. internation. Limnol. Theor. Appl.*, 12, 320-326.
- TALLING (J. F.), TALLING (I. B.), 1965. — The chemical composition of African lake waters. *Internation. Rev. Ges. Hydrobiol.*, 50, 3, 421-463.
- THOMASSON (K.), 1960. — Notes on the plankton of lake Bangweulu, part. 2. *Nova Acta R. Soc. Sci. Upsal.*, sér. 4, 17 (12), 43 p., 13 fig.
- THOMASSON (K.), 1960. — Ett fall av tropisk vattenblomning. *Bot. Not.*, 113, 2, 214-216.
- VAN LANDEGHEM (H.), 1969. — Les réalisations françaises : la culture de la spiruline, algue bleue. Compte rendu de la séance d'étude de la section « Énergie solaire » de la société française des thermiciens. 7 p., multigr.
- WEST (W.), WEST (G. S.), 1896. — Algae from Central Africa. *J. Bot. Long.* 34, 377-384.
- WOOD (R. B.), 1968. — The production of *Spirulina* in open lakes. Communication à la réunion du Swedish Council for Applied Research, Stockholm, 11 p., multigr.
- WOUTERS (J.), 1969. — Influence du milieu minéral sur le rendement pondéral et le spectre des acides aminés de *Spirulina platensis* (Gom.) Geitl. *Ann. Phys. Veget. Univ. Bruxelles*, 14, 4, 85-105.
- ZARROUK (G.), 1966. — Contribution à l'étude d'une Cyanophycée. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Setch. et Gardner) Geitler. Thèse Doctorat, Nr. A.O. 1064, Paris.

Amérique du Sud.

- LOEFFLER (H.), 1960. — Limnologische Untersuchungen an chilenischen und peruanischen Binnengewässern. 1. Die physikalischen und chemischen Verhältnisse. *Ark. Geofys.*, 3, 10, 155-245.
- THOMASSON (K.), 1960. — Ett fall av tropisk vattenblomning. *Bot. Not.*, 113, 2, 214-216.
- WITTROCK (V.), NORDSTEDT (O.), 1889. — Algae aquae dulcis exsiccatae. Stockholm, fasc. 21, 92 p.

Asie.

- BISWAS (K.), 1927. — Aquatic vegetation in Bengal in relation to supply of oxygen to the water. *J. Dep. Sci. Calcutta Univ.*, 8, 49-56.
- GHOSE (S. L.), 1923. — A systematic and ecological account of collections of blue-green algae from Lahore and Simla. *J. linn. Soc. (Lond.) Bot.*, 46, 343-346.
- HIRANO (M.), 1967. — Freshwater algae collected by the Joint Thai-Japanese Biological Expedition to Southeast Asia 1961-62. *Nature and Life in Southeast Asia*, 5, 71 p., 16 pl.
- HOLSINGER (E. C.), 1955. — The plankton algae of three Ceylon lakes. *Hydrobiologia*, 7, 8-24.
- KIMOR (B.), POLLINGER (U.), 1965. — The plankton algae of Lake Tiberias. *Sea Fish. Res. Stat.*, 78, A, 76 p.
- KOMAROVSKY (B.), 1951. — Some characteristic water-blooms in lake Tiberias and fish ponds in the Jordan Valley. *Proc. Internation. Assoc. theoretic. appl. Limnol.* 11, 219-223.
- KOMAROVSKY (B.), 1953. — A comparative study of the phytoplankton of several fish ponds in relation to some of the essential chemical constituents of the water. *Bull. Res. Council Israel*, 2, 4, 379-410.
- RAYSS (T.), 1944. — Matériaux pour la flore algologique de la Palestine. I. Les Cyanophycées. *Palestine J. Botany*, Jérusalem sér., 3, 94-113.
- RHANDAWA (M. S.), 1936. — Occurrence and distribution of the freshwater algae of North India. *Proc. Indiana Acad. Sci.* B, 4, 1, 36-44.